

# Origen del Sistema Solar

# Estudio del Sistema Solar

## *¿Cómo se formó?*

Cualquier teoría debe:

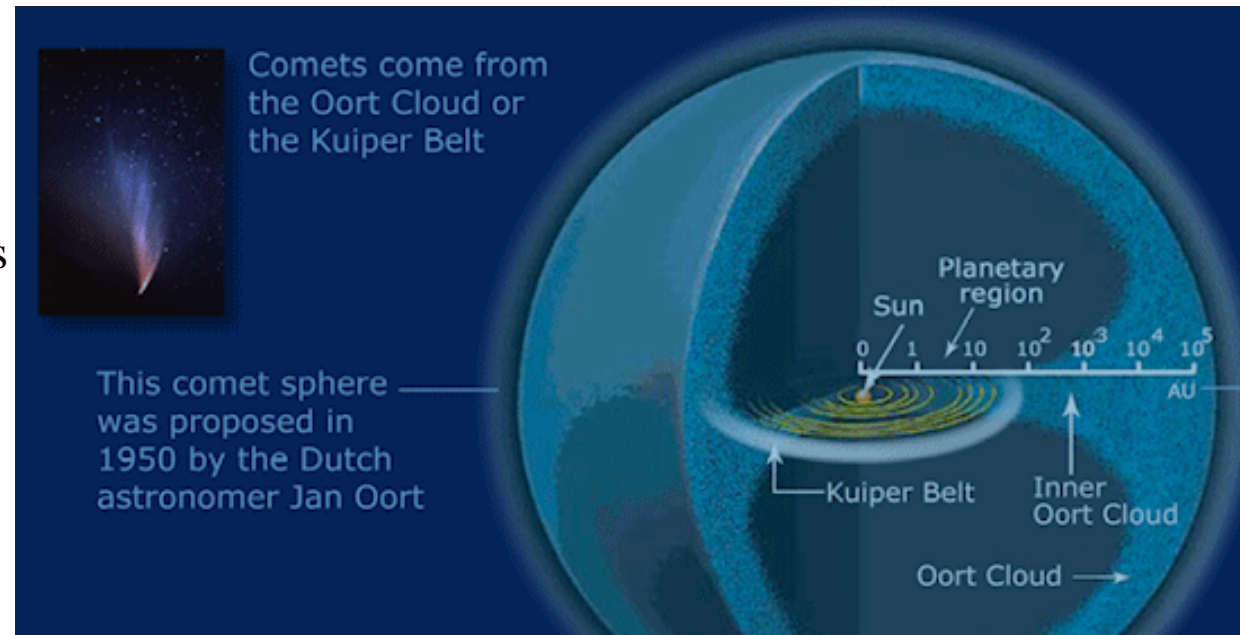
1. Basarse en leyes físicas (conservación de E, gravedad, leyes de la mecánica etc)
2. Poder explicar las observaciones en nuestro Sistema planetario
3. Poder explicar otros Sistemas planetarios.

## *¿Con qué método lo afrontamos?*

1. **Obtención de datos**
2. **Emisión de hipótesis explicativas**
3. **Comprobación**
4. **Reinterpretación (si no se cumple la hipótesis).**

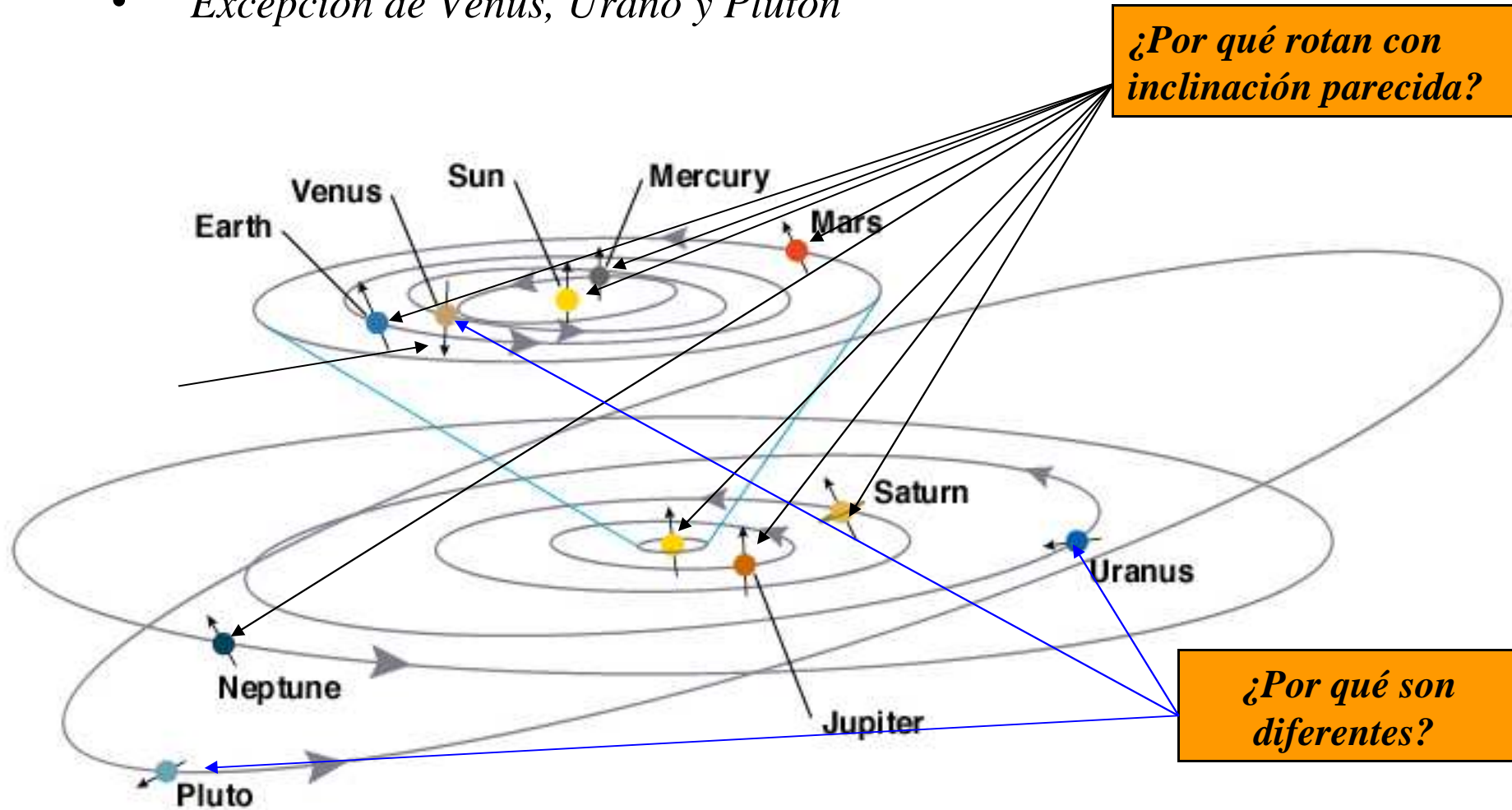
# Datos observacionales: Componentes del Sistema Solar

- Estrella Sol, en el centro
- Planetas interiores rocosos (Mercurio, Venus, Tierra, Marte) ~ 1 UA
- Cinturón de Asteroides, ~ 3 UA
- Planetas exteriores gaseosos (Jupiter, Saturno, Neptuno, Urano), ~ 5-40 UA
- Planetas transneptunianos: rocosos o cometarios
- Cinturón de Kuiper ~ 30 to 50 UA
- Nube de Oort ~ 50,000 UA (Origen de los cometas)



# Datos observacionales: La órbita de los planetas



















- Sentido del movimiento de traslación y de rotación
- Inclinação del eje de rotación del Sol y de los planetas
  - *Excepción de Venus, Urano y Plutón*





# Datos cuantitativos de los planetas solares

TABLE 6.1 Planetary Data\*

Photo	Planet	Relative Size	Average Distance from Sun (AU)	Average Equatorial Radius (km)	Mass (Earth = 1)	Average Density (g/cm <sup>3</sup> )	Orbital Period	Rotation Period	Axis Tilt	Average Surface (or Cloud Tops) Temperature†	Composition	Known Moons (2004)	Rings?
	Mercury		0.387	2,440	0.055	5.43	87.9 days	58.6 days	0.0°	700 K (day) 100 K (night)	Rocks, metals	0	No
	Venus		0.723	6,051	0.82	5.24	225 days	243 days	177.3°	740 K	Rocks, metals	0	No
	Earth		1.00	6,378	1.00	5.52	1.00 year	23.93 hours	23.5°	290 K	Rocks, metals	1	No
	Mars		1.52	3,397	0.11	3.93	1.88 years	24.6 hours	25.2°	240 K	Rocks, metals	2	No
	Jupiter		5.20	71,492	318	1.33	11.9 years	9.93 hours	3.1°	125 K	H, He, hydrogen compounds <sup>§</sup>	61	Yes
	Saturn		9.54	60,268	95.2	0.70	29.4 years	10.6 hours	26.7°	95 K	H, He, hydrogen compounds <sup>§</sup>	31	Yes
	Uranus		19.2	25,559	14.5	1.32	83.8 years	17.2 hours	97.9°	60 K	H, He, hydrogen compounds <sup>§</sup>	24	Yes
	Neptune		30.1	24,764	17.1	1.64	165 years	16.1 hours	29.6°	60 K	H, He, hydrogen compounds <sup>§</sup>	13	Yes
	Pluto		39.5	1,160	0.0022	2.0	248 years	6.39 days	112.5°	40 K	Ices, rock	1	No

# Datos comparativos entre los planetas solares

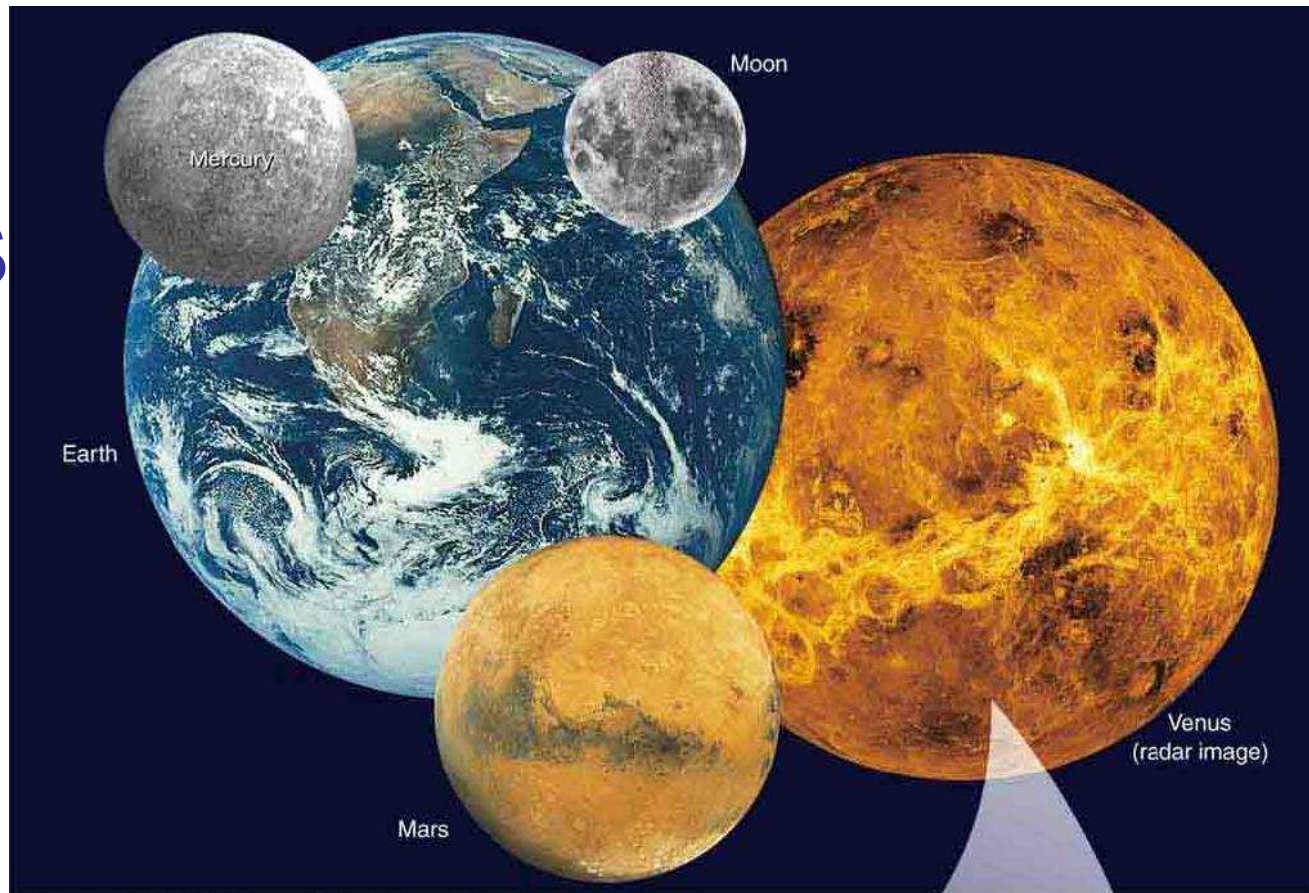
	Planetas terráqueos	Planetas jovianos
<i>Tamaño</i>	Menor	Mayor
<i>Masa</i>	Menor	Mayor
<i>Densidad</i>	Mayor	Baja
<i>Componentes mayoritarios</i>	Silicatos y metales	H y He
<i>Superficie</i>	Sólida y cálida	Gaseosa y fría
<i>Satélites</i>	Pocos o ninguno	Numerosos
<i>Anillos</i>	No	Todos
<i>Proximidad</i>	Cercanos al Sol (y entre ellos)	Lejanos al Sol (y entre ellos)

# Planetas terráqueos

Conocidos como  
interiores

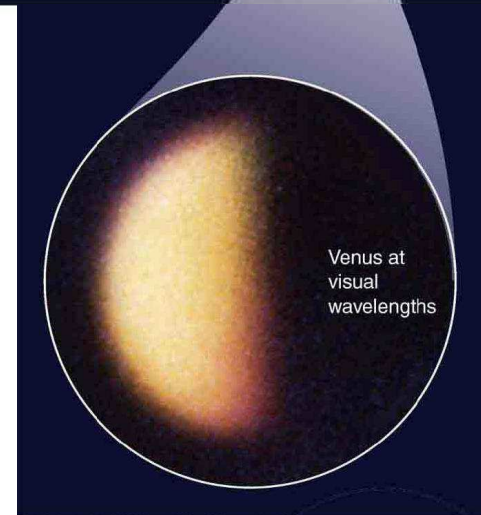
Relativamente  
pequeños en masa y  
tamaño (La Tierra es  
el mayor y más  
masivo)

Son rocosos



© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning

La superficie de Venus no es visible desde  
la tierra



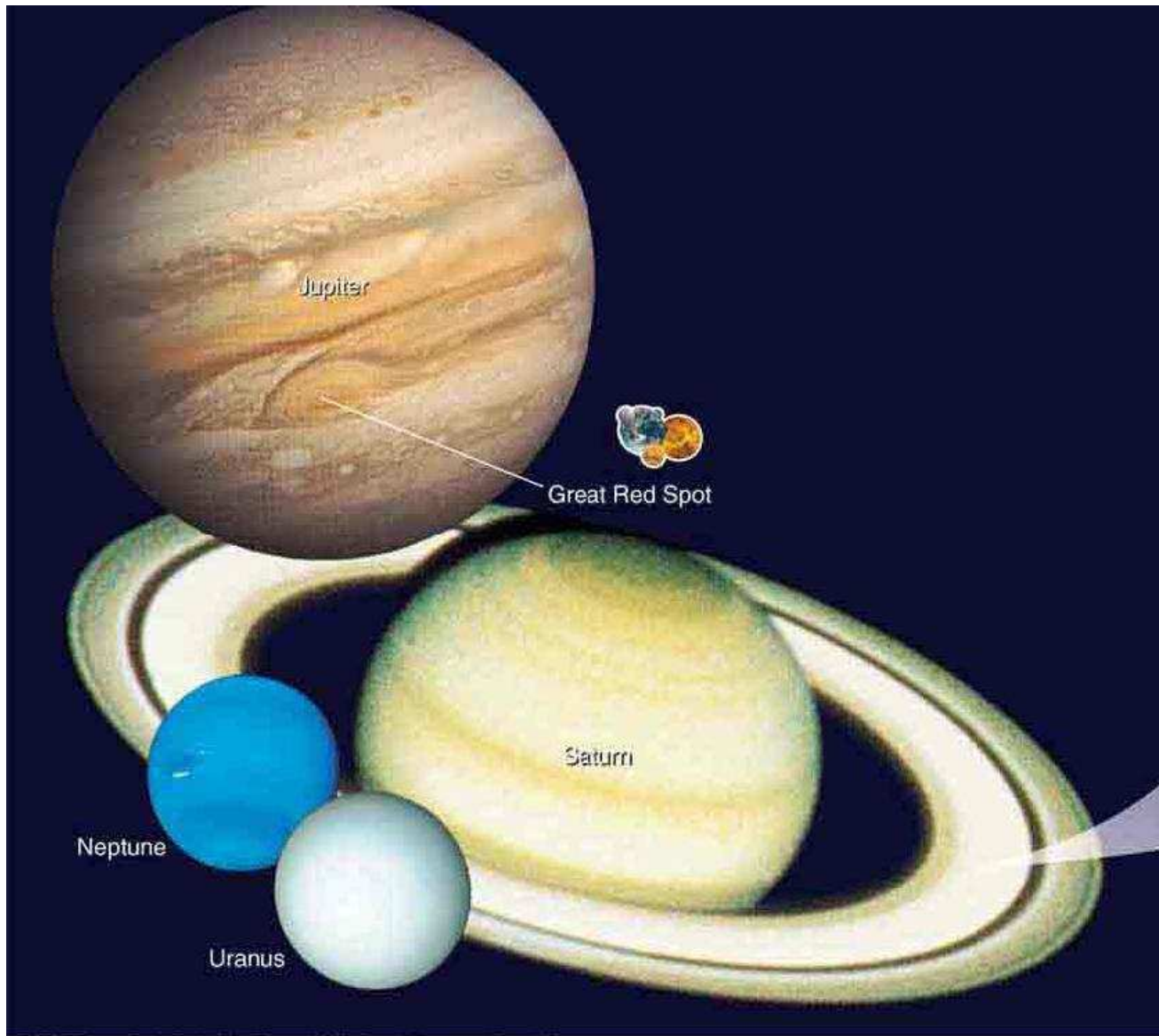
© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning

# Planetas jovianos

Mucho mayores y  
masivos que los  
terráqueos

Densidad muy  
baja

Tienen anillos  
(todos) y numerosos  
satélites



Gaseosos



# Exploración del Sistema solar

## Tamaños relativos

Si reducimos todo el sistema hasta que la tierra tenga un diámetro de 0.3 mm.

Sol: ~ tamaño de una ciruela pequeña

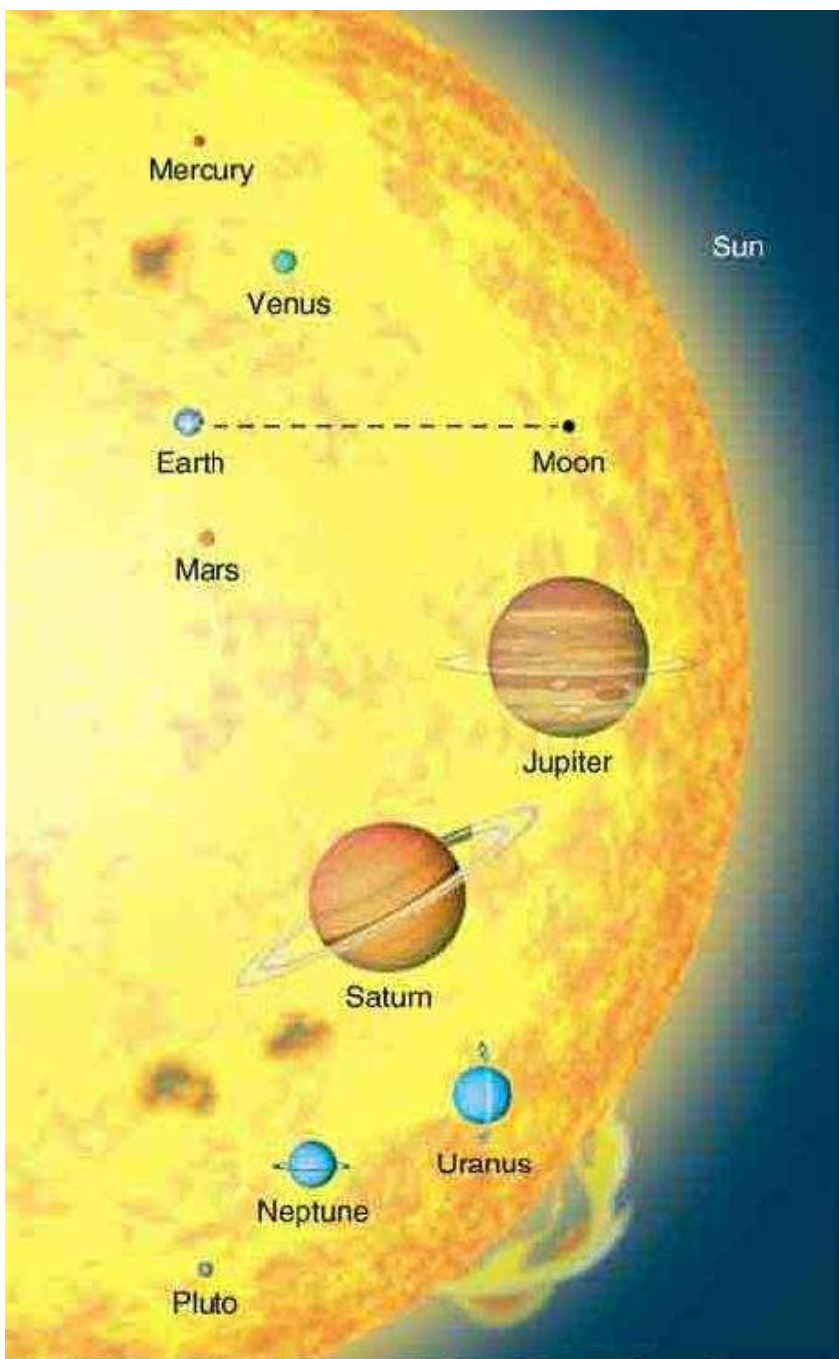
Mercurio, Venus, Tierra, Marte:  
~ como un grano de sal.

Júpiter: ~ como una semilla de manzana.

Saturn: ~ algo menor que Júpiter

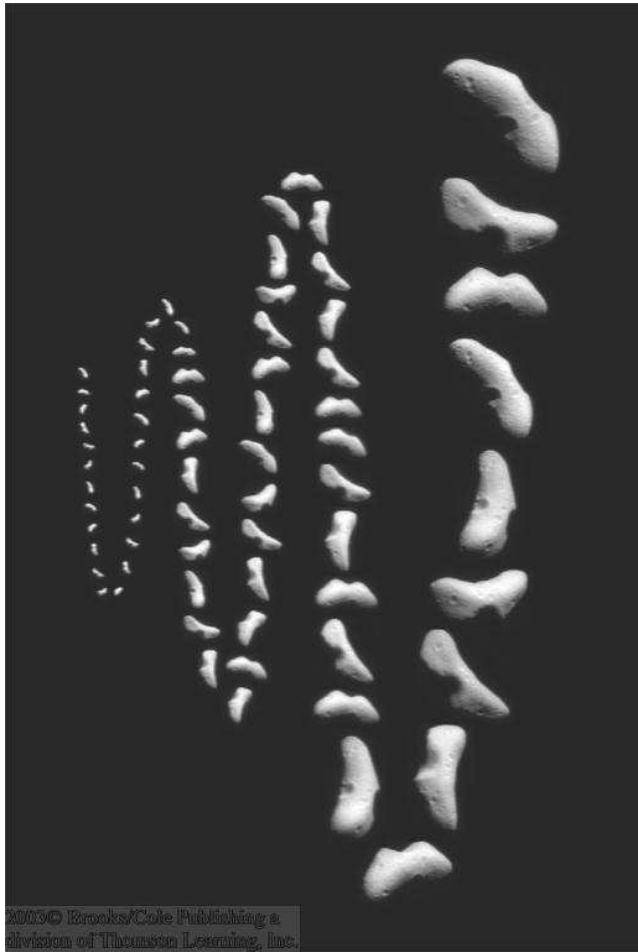
Urano, Neptuno: ~ Granos de sal gorda

Pluto: ~ Mota de pimienta.



# Cuerpos menores

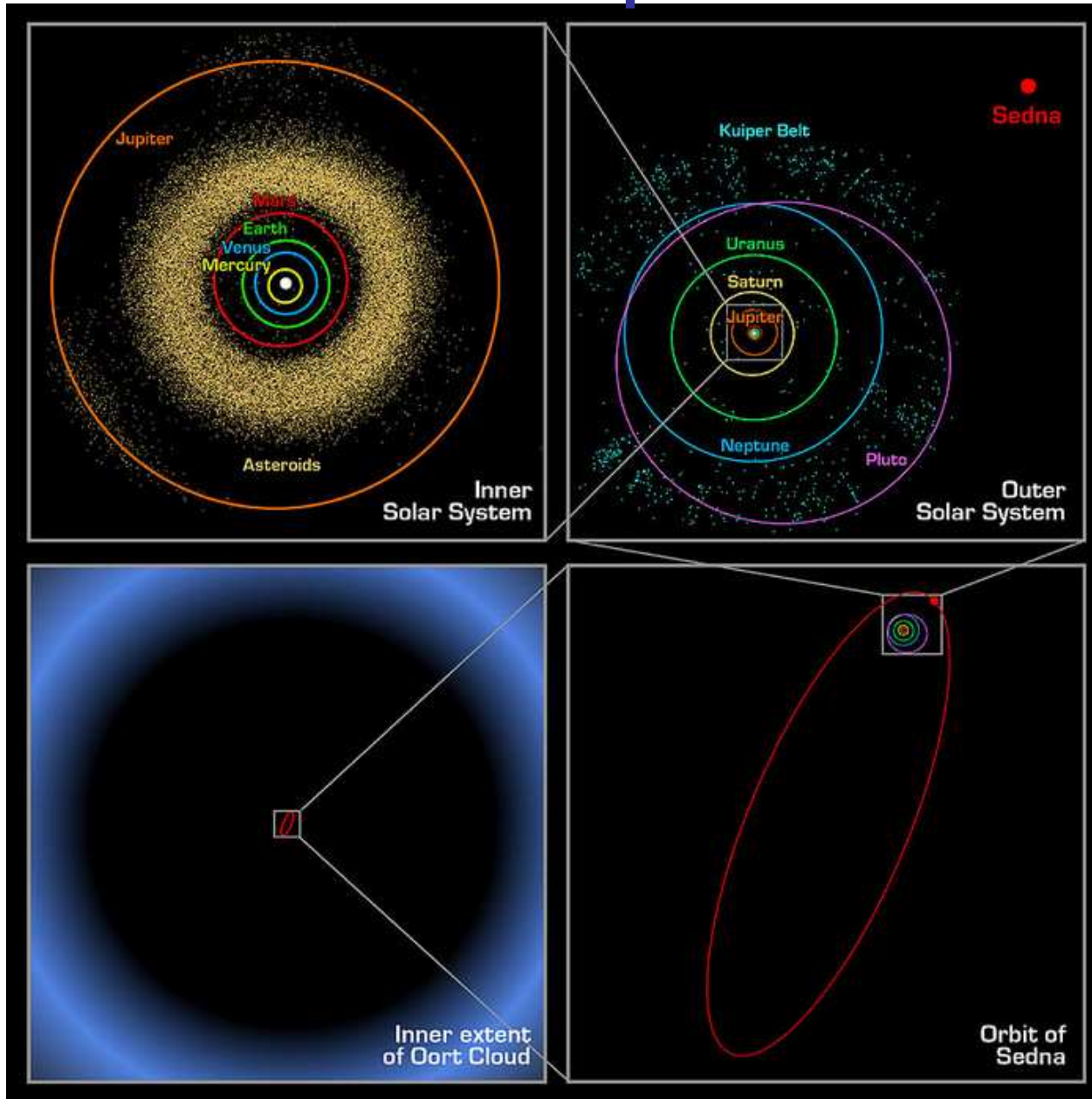
Además de planetas hay multitud de pequeños y medianos cuerpos Planetas menores, asteroides, cometas, meteoroides



Asteroide  
Eros,  
fotografiado  
por la  
NEAR



# Cuerpos menores



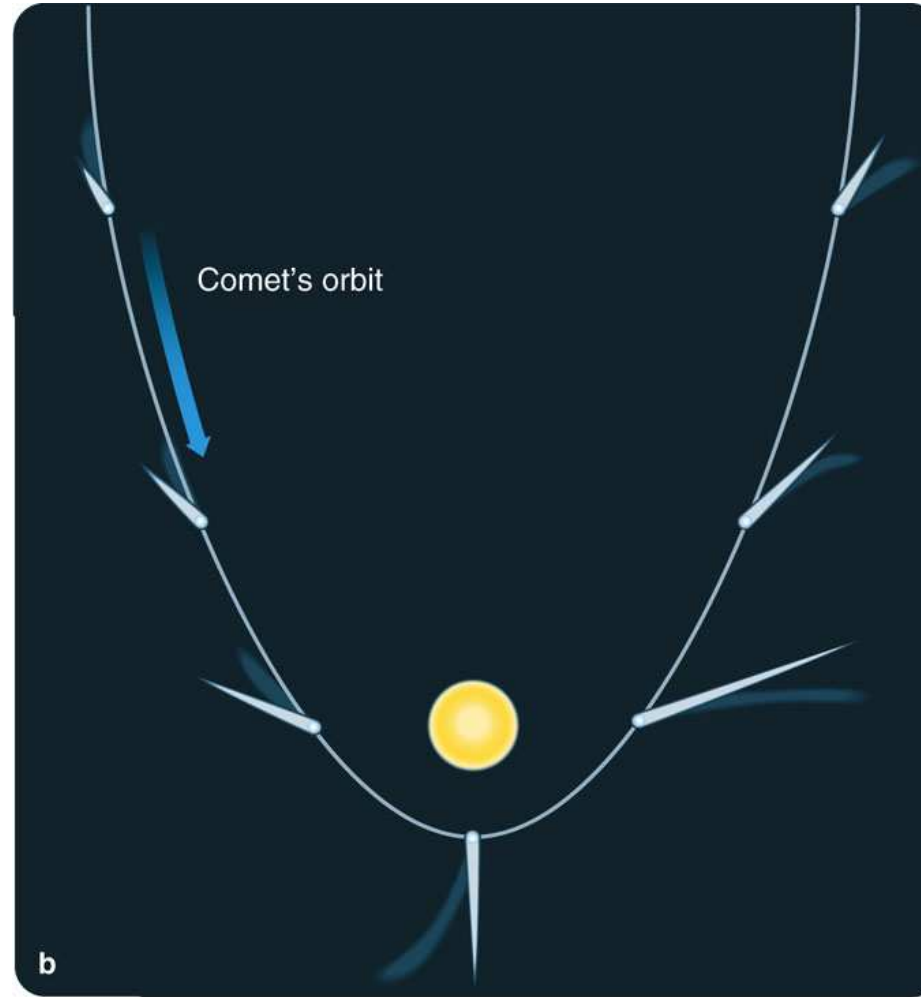
**Transneptunianos**



# Cometas



Núcleo helado que se volatiliza y es empujado por el viento solar



© 2006 Brooks/Cole - Thomson

Órbitas muy elípticas. Pueden pasar muy cerca o caer en el Sol



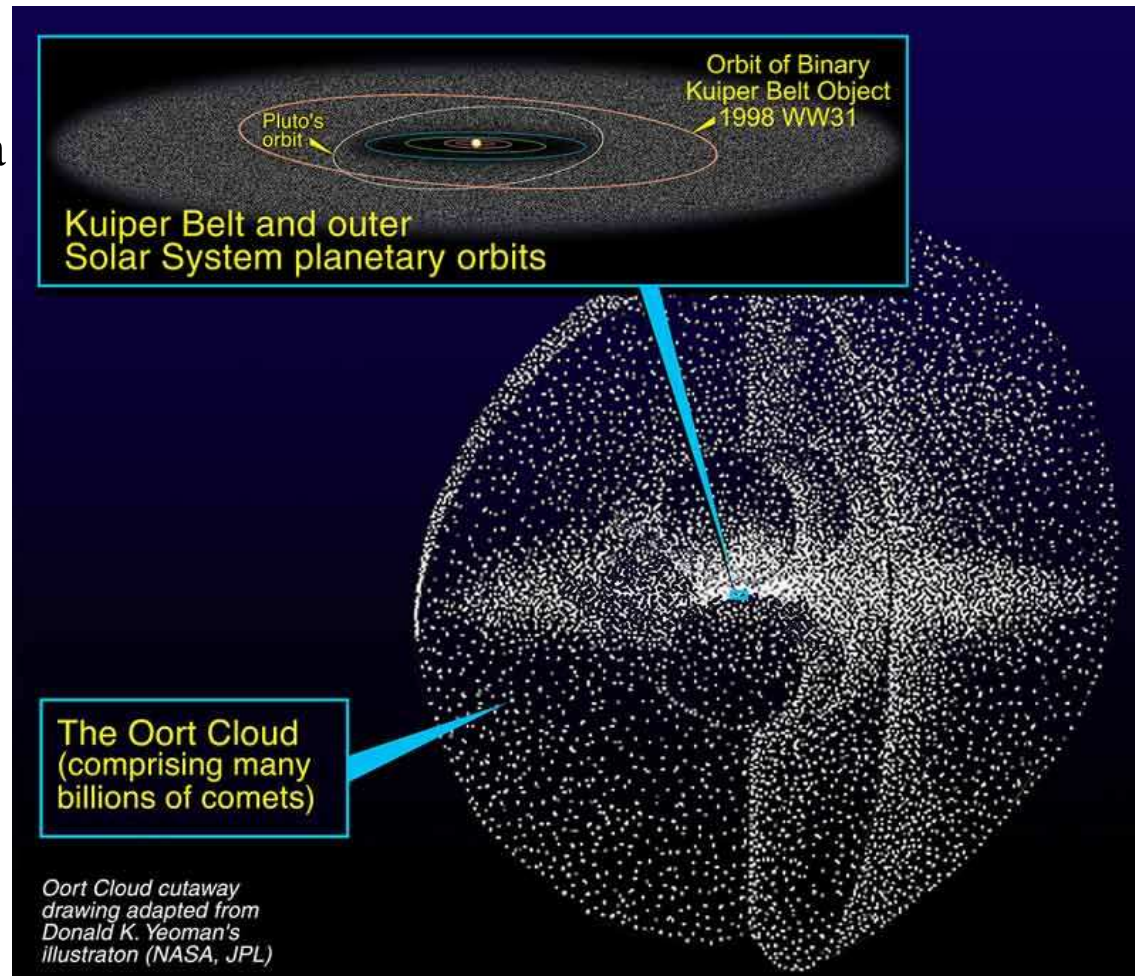
# Datos: El cinturón de Kuiper y la nube de Oort

## Cinturón de Kuiper

Gran banda de pequeños cuerpos transneptunianos (30 a 50 UA)

## Oort Cloud

Región esférica hasta unas 50,000 UA.



# En suma, tendremos que explicar...

**Table 7.3 Four Major Characteristics of the Solar System**

**Large bodies in the solar system have orderly motions.** All planets and most satellites have nearly circular orbits going in the same direction in nearly the same plane. The Sun and most of the planets rotate in this same direction as well.

**Planets fall into two main categories:** small, rocky terrestrial planets near the Sun and large, hydrogen-rich jovian planets farther out. The jovian planets have many moons and rings made of rock and ice.

**Swarms of asteroids and comets populate the solar system.** Asteroids are concentrated in the asteroid belt, and comets populate the regions known as the Kuiper belt and the Oort cloud.

**Several notable exceptions to these general trends stand out,** such as planets with unusual axis tilts or surprisingly large moons, and moons with unusual orbits.

# Teorías sobre el origen del Sistema Solar

---

## 1) Teorías catastrofistas

Ejemplo: Hipótesis de la cuasicolisión:

Una estrella pasa cerca del Sol del que arranca materia  
de la que se forman los planetas

Conclusión: Sólo algunas estrellas  
tendrían planetas

---

## 2) Teorías evolutivas

Ejemplo: Hipótesis nebular de Laplace:

Anillos de materia se separan de una nube en contracción y en rotación,  
trasladando momento angular hacia el exterior. La contracción de la  
nebulosa forma el Sol

Conclusión: La mayoría de las  
estrellas deben tener planetas

## The Solar Nebula Hypothesis

A rotating cloud of gas contracts and flattens...

# Teoría Nebular

Base de las modernas teorías sobre la formación de planetas

Los planetas se forman a la par que su estrella a partir de una nube molecular

Datos observacionales:  
Discos “protoplanetarios” en torno a estrellas T-Tauri

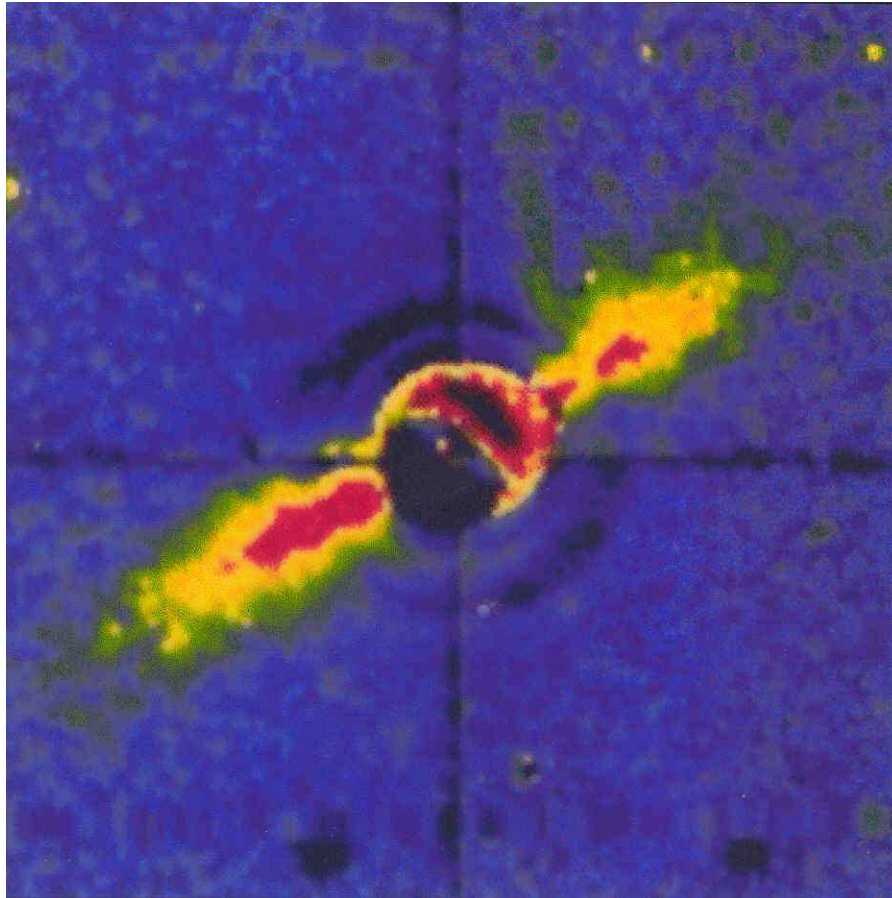
El Sol y su sistema se formaron hace unos 5000 m.a.

to form a thin disk of gas and dust around the forming sun at the center.

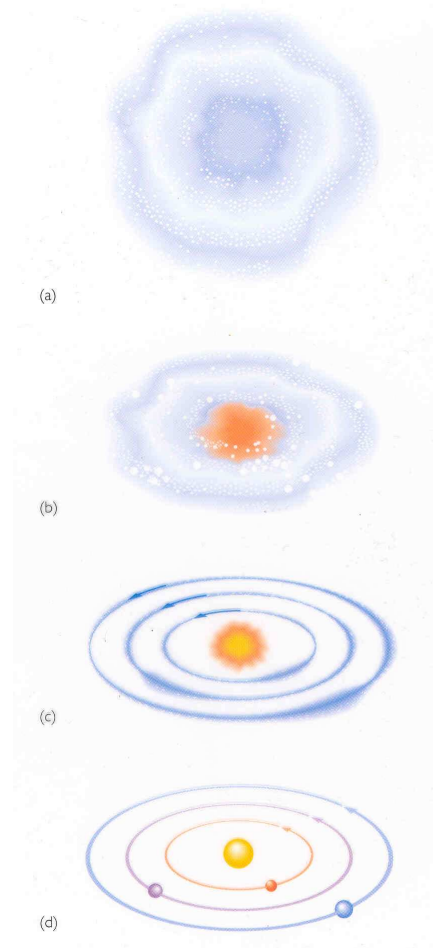
Planets grow from gas and dust in the disk and are left behind when the disk clears.



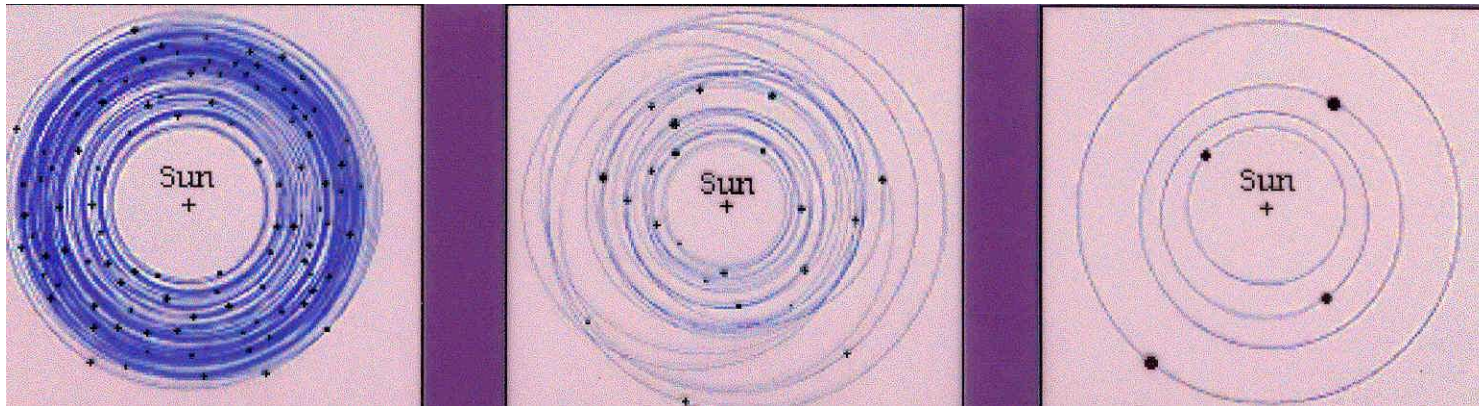
# Disco protoplanetario en Beta Pictoris



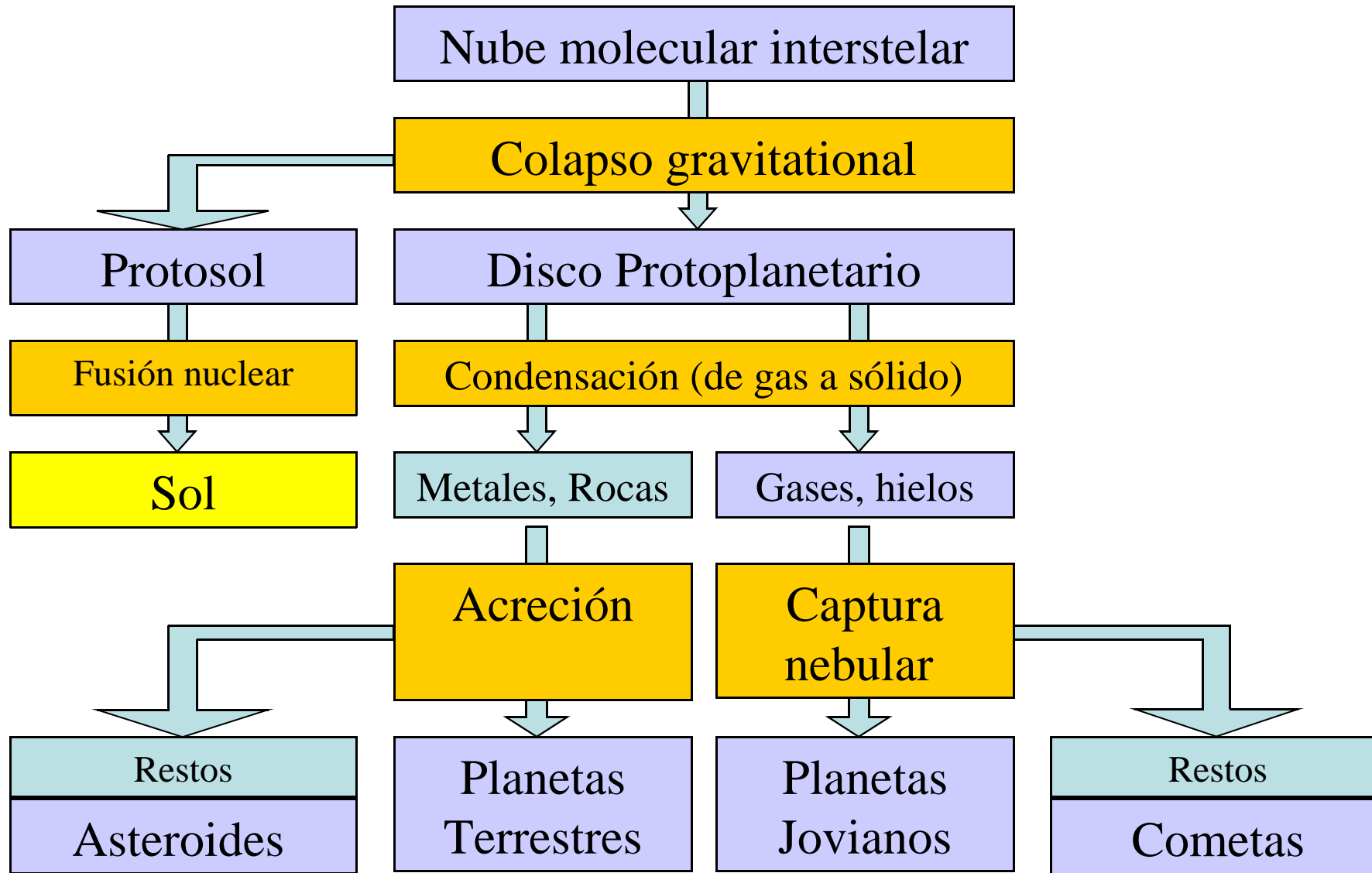
# Formation of the Solar System



# Planetesimals forming planets



# Teoría nebular<sup>(protoplanetaria)</sup> sobre la formación del Sistema Solar





# Condensación y acreción de partículas

Los componentes de mayor punto de fusión se condensan y se agregan

La temperatura en la nebulosa protoplanetaria decrece con la distancia al protosol

La composición de las partículas condensadas varía con la distancia al sol → metales con menor punto de fusión a mayor distancia de la estrella

■ Table 16-2 | Observed and Uncompressed Densities

Planet	Observed Density (g/cm <sup>3</sup> )	Uncompressed Density (g/cm <sup>3</sup> )
Mercury	5.44	5.30
Venus	5.24	3.96
Earth	5.50	4.07
Mars	3.94	3.73
(Moon)	3.36	3.35

■ Table 16-3 | The Condensation Sequence

Temperature (K)	Condensate	Planet (Estimated Temperature of Formation; K)
1500	Metal oxides	Mercury (1400)
1300	Metallic iron and nickel	
1200	Silicates	Venus (900)
1000	Feldspars	
680	Troilite (FeS)	Earth (600)
		Mars (450)
175	H <sub>2</sub> O ice	Jovian (175)
150	Ammonia-water ice	Pluto (65)
120	Methane-water ice	
65	Argon-neon ice	

# Crecimiento de los protoplanetas terráqueos

El aumento de tamaño concentra más radiactivos y más impactos (calor primordial)

Se reduce la relación superficie/volumen

Acumulación de calor que funde rocas: los elementos más pesados se hunden (diferenciación gravitatoria y más temperatura)

La diferenciación también desgaseifica: atmósfera

Two Models of Planet Building

Planetesimals contain both rock and metal.

The first planetesimals contain mostly metals.

A planet grows slowly from the uniform particles.

Later the planetesimals contain mostly rock.

The resulting planet is of uniform composition.

A rock mantle forms around the iron core.

Heat from radioactive decay causes differentiation.

Heat from rapid formation can melt the planet.

The resulting planet has a metal core and low-density crust.

The resulting planet has a metal core and low-density crust.

# El crecimiento de los jovianos

Dos problemas a explicar:

- 1) Los planetas gigantes gaseosos son frecuentes entre los exoplanetas
- 2) Los discos protoplanetarios tienden a evaporarse rápido ( $\sim 100,000$  años) por la radiación de estrellas masivas cercanas y viento solar

→ Demasiado poco para formar planetas tan grandes??

Modelos computacionales: Es posible por acreción directa de gases, sin planetesimales

# Meteoroides

Pequeños ( $\mu\text{m}$  – mm)  
granos de polvo

Cuando rozan con la  
atmósfera terrestre  
forman estrellas fugaces

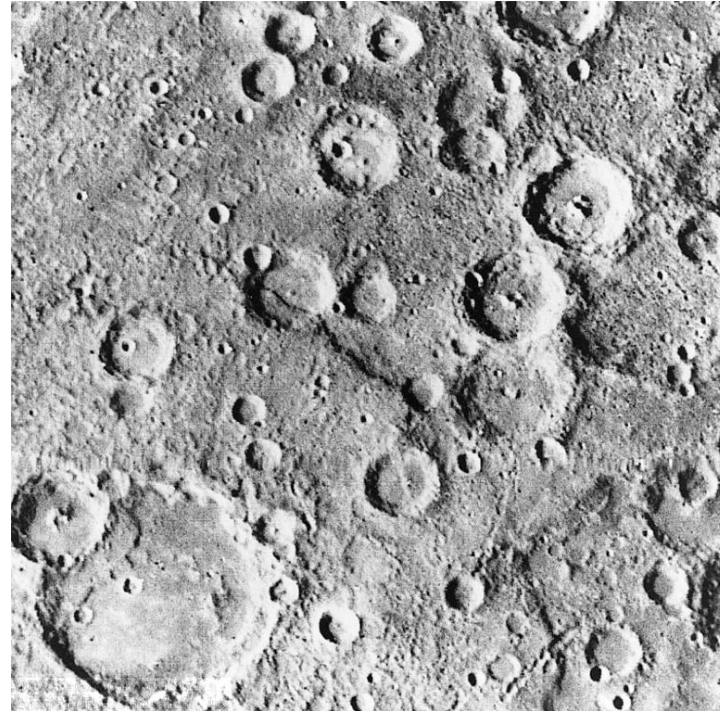




# Aclarado final

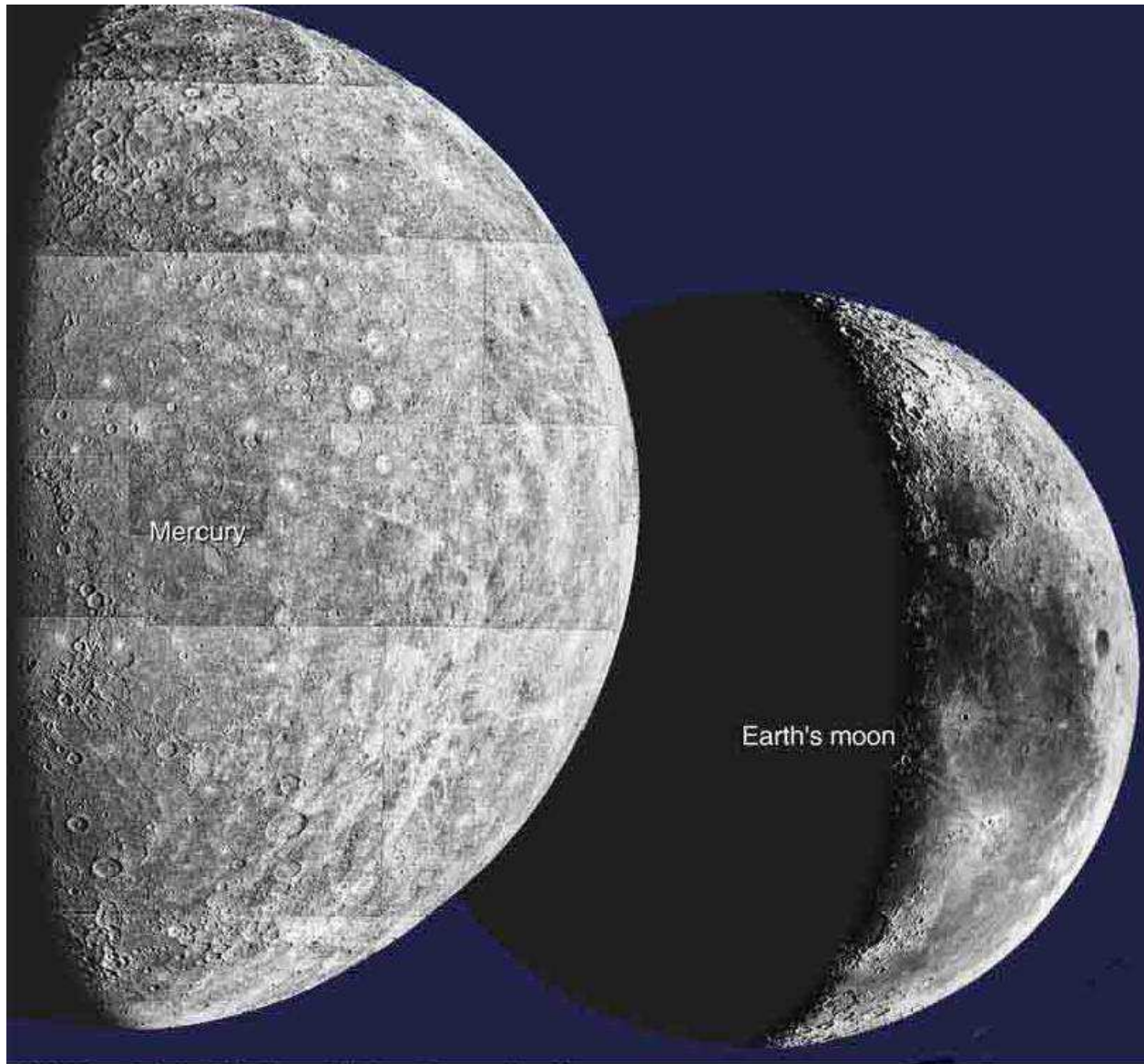
Los restos de la nebulosa protoplanetaria se limpian por

- Presión de radiación solar
- Viento solar
- Impactos (Gran Bombardeo meteorítico)
- Expulsión de órbitas resonantes



# Cráteres de impacto

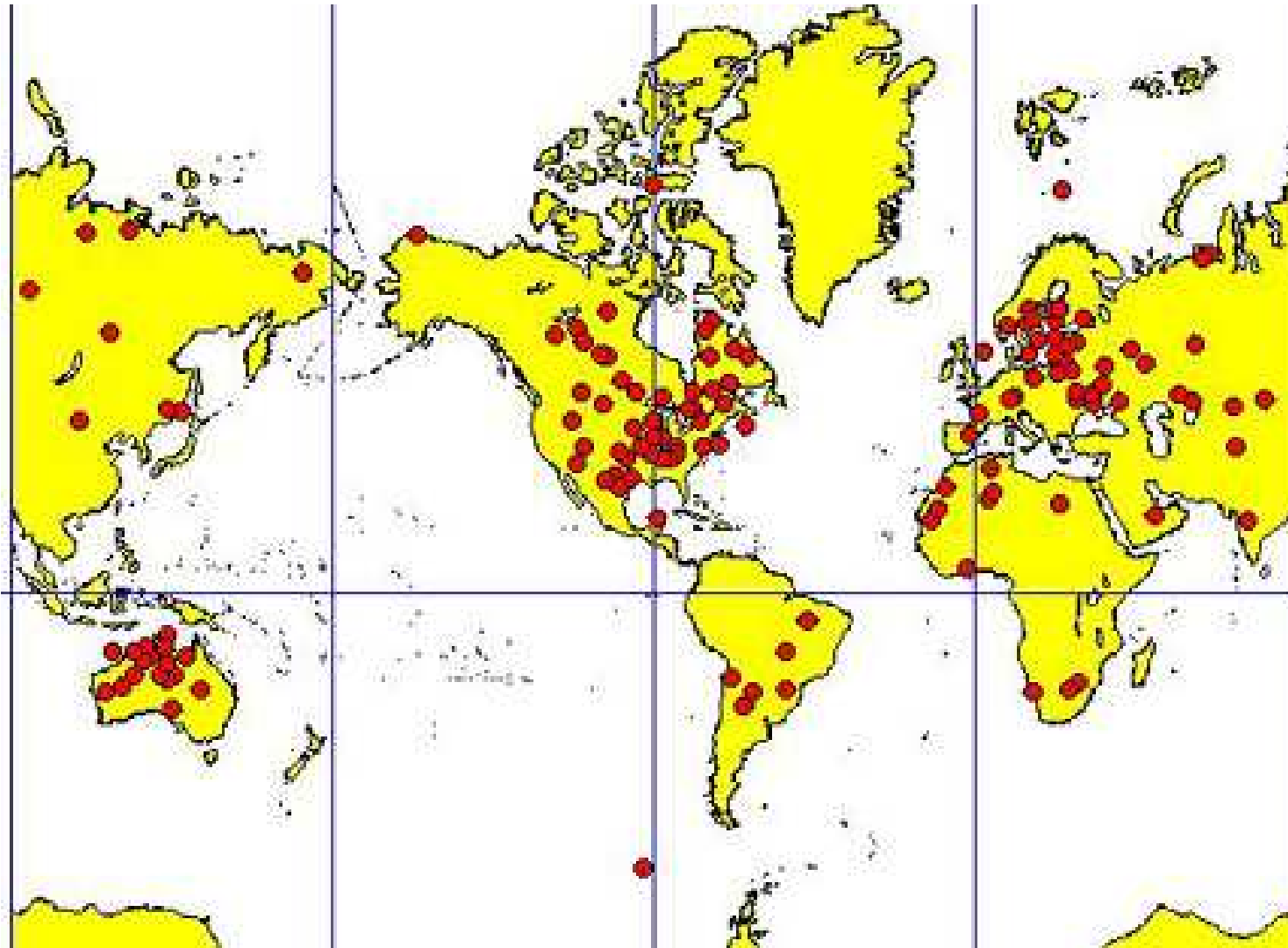
En cuerpos  
rocosos poco  
renovados y con  
escasa atmósfera



© 2002 Brooks Cole Publishing - a division of Thomson Learning



# Astroblemas





# Edad del sistema solar



Sol y planetas deben tener una edad semejante

La edad de las rocas se puede medir por datación radiactiva



La edad de los materiales más antiguos del Sistema solar es de unos 4600 m.a.

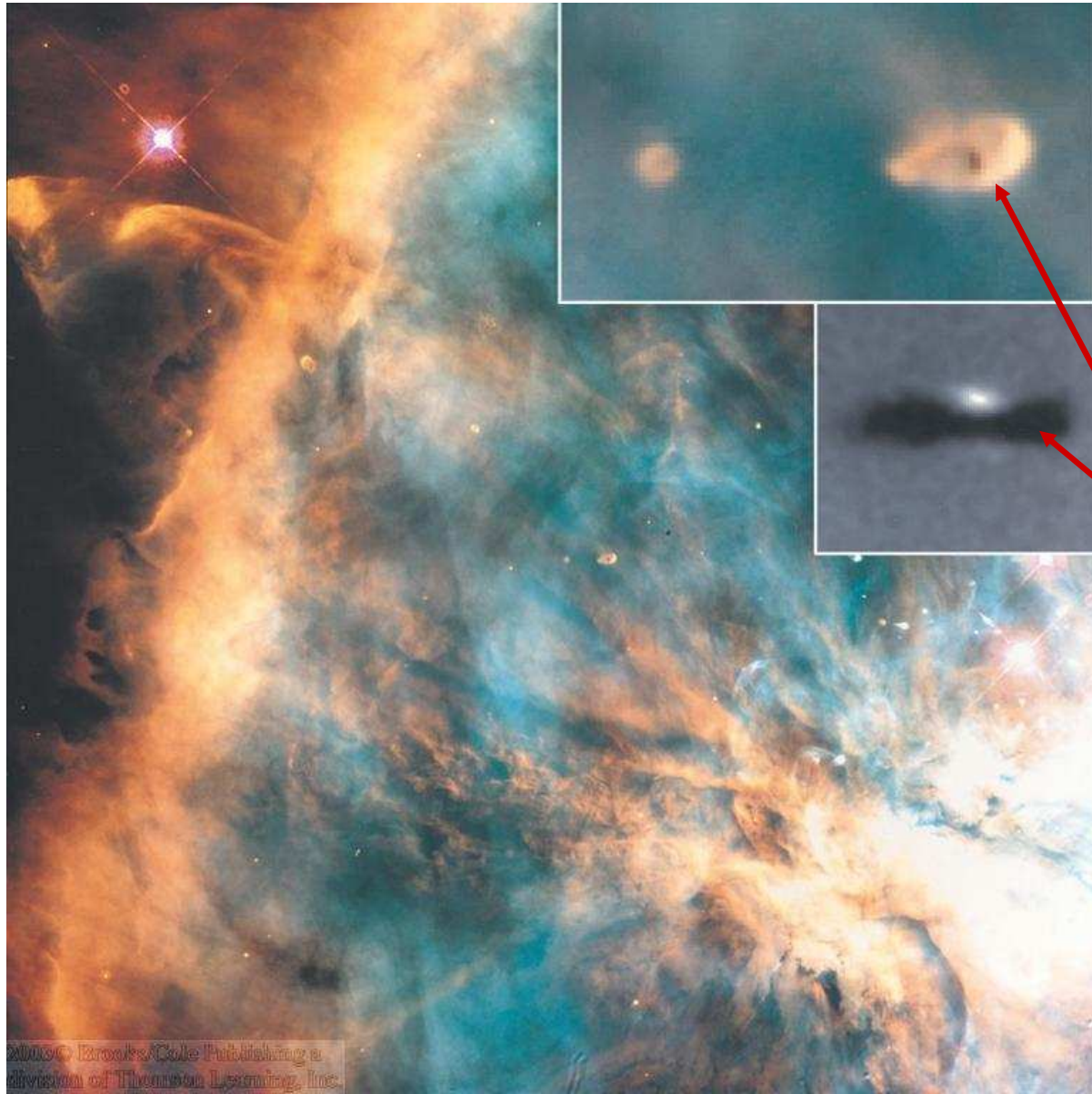


# Otros sistemas planetarios

Pruebas sobre  
la formación de  
planetas

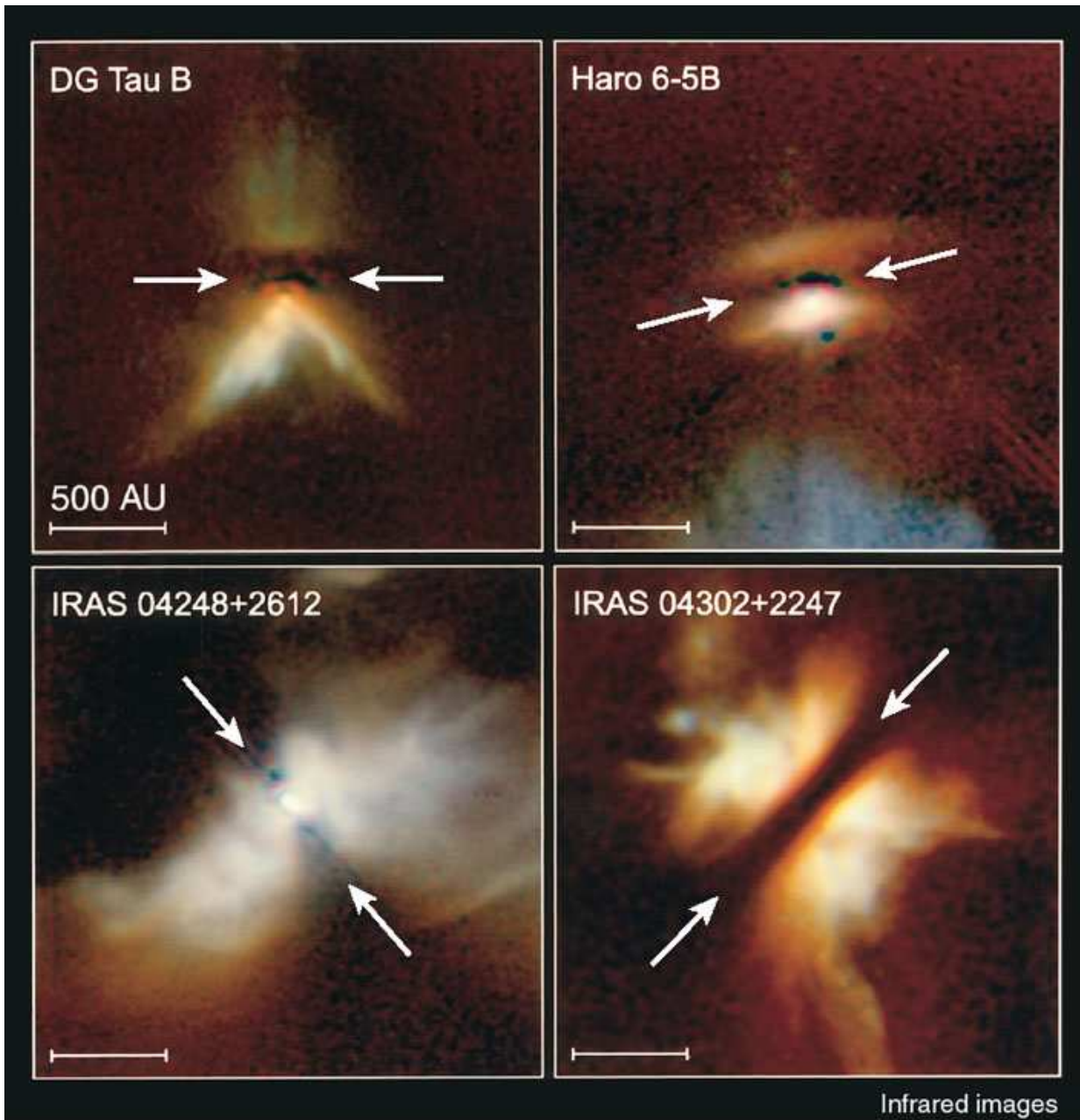
Muchas estrellas  
jóvenes de la  
nebulosa de Orión  
están rodeadas por  
discos de gas y  
polvo

Lugares de  
probable formación  
de planetas ahora

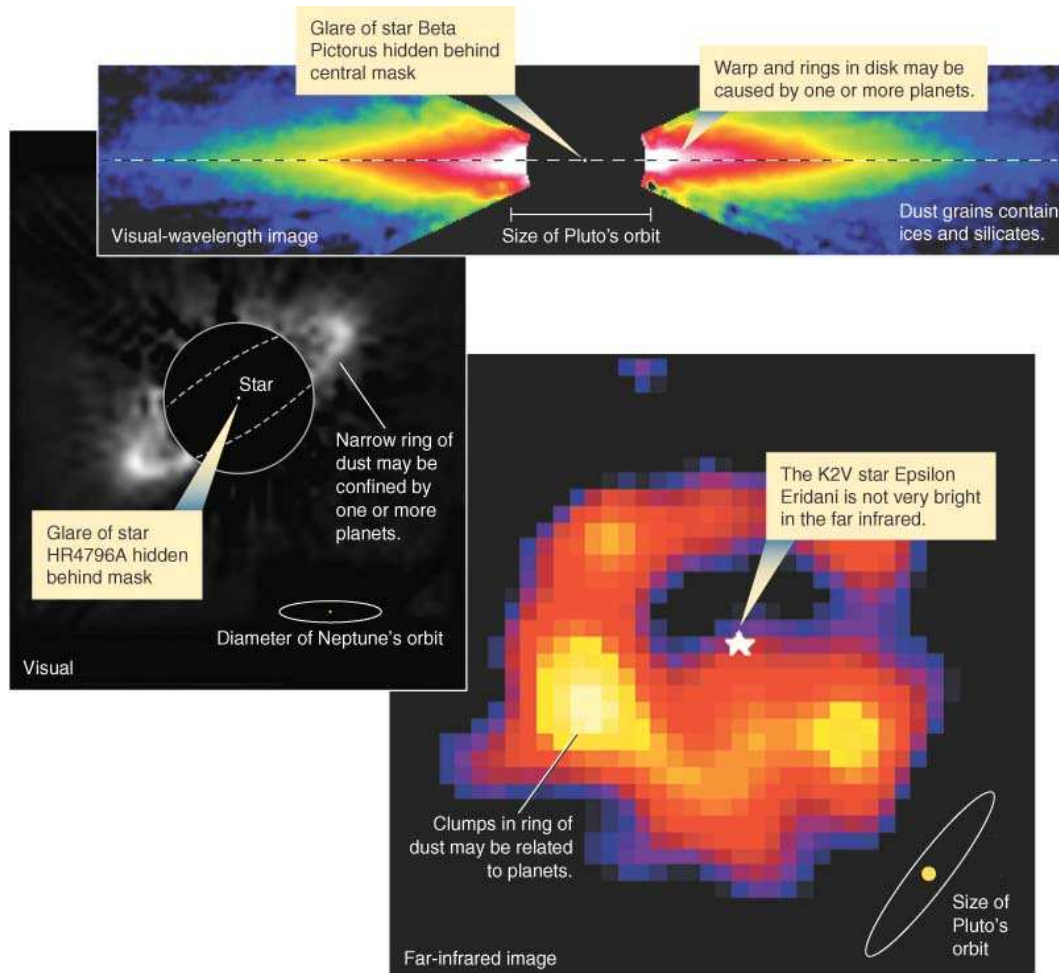


# Discos de polvo en torno a estrellas en formación

Discos  
protoplanetarios  
alrededor de  
estrellas T-Tauri  
obtenida por el  
HST



# Exoplanetas



© 2004 Thomson/Brooks Cole

No se han detectado de forma directa, sino con las mismas técnicas que para estrellas binarias:

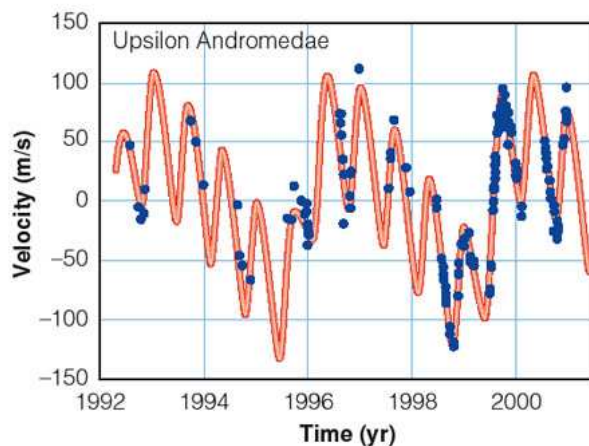
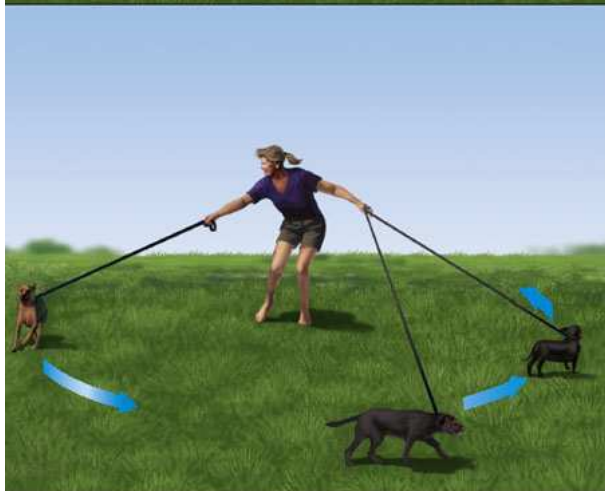
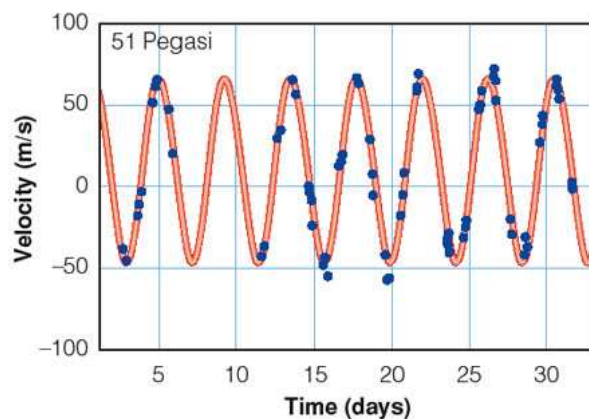
- Bamboleo de la estrella en torno al centro de masas
- Cambios periódicos de brillo



# Detection indirecta de planetas extrasolares

Desplazamientos  
Doppler periódicos  
en estrellas sin  
compañera visible  
(Método de la  
velocidad radial)

Prueba del  
bamboleo de la  
estrella alrededor  
del centro de  
masas del sistema  
planetario

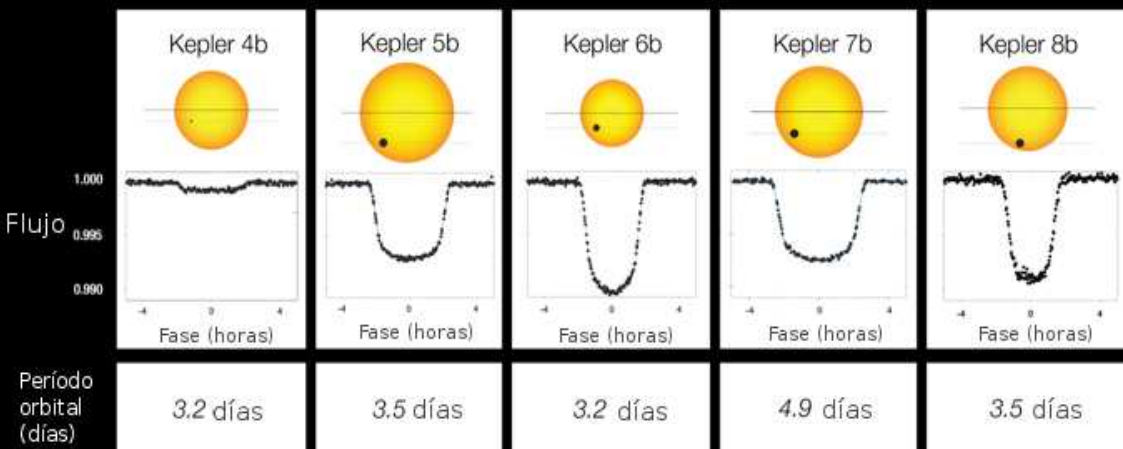




# Detection indirecta de planetas extrasolares

Oscilación periódica  
del brillo por  
tránsitos planetarios

## Curvas de luz de los tránsitos



**Michel Mayor y Didier Queloz**

Se han descubierto  
centenares de  
exoplanetas desde 1995  
(553 en 416 sistemas en  
noviembre 2011)

